

ローラチェーンの強度設計および摩耗評価に関する研究

著者	斉藤 亮一
発行年	2021-03-25
その他のタイトル	Strength Design and Wear Evaluation of Roller Chain
学位授与番号	17104甲工第511号
URL	http://hdl.handle.net/10228/00008292

氏名	齊藤 亮一
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	工博甲第511号
学位授与の日付	令和3年3月25日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	ローラチェーンの強度設計および摩耗評価に関する研究 (Strength Design and Wear Evaluation of Roller Chain)
論文審査委員	主査 教授 野田 尚昭 " 秋山 哲也 " 松田 健次 准教授 山口 富子

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

ローラチェーンは駆動装置や部品搬送システムなどに用いられる主要な伝動機械要素であり、動力源に連結されたスプロケットに噛み込んだチェーンに、スプロケットによる駆動力が直接伝達される。ベルト駆動方式と比較すると、伝動容量が大きく、スリップが無視できる程小さいため伝達効率も高い。このような利点を持つローラチェーンは自転車、オートバイ、鉄鋼、化学、食品、エレクトロニクスといった幅広い産業分野で使用されている。

チェーンが自転車の動力伝達用途として実用化された後、各種の産業が機械化されるに伴い、鉱山機械や化学機械、輸送装置などにチェーンが広く利用されるようになった。その背景として、チェーンを媒体とする運搬機（チェーンコンベヤ）は、微粉炭やセメント等の粉末、鉱石や石炭等の塊状のもの、鋼片等の重量物まで、ほとんどあらゆる運搬物を運ぶことができる利点が挙げられる。コンベヤの生産高の急激な増加や、産業の多様化に伴い、長寿命化を目的とする使用環境に合わせたローラチェーンの開発がチェーンメーカーを中心に行われてきた。部材の高強度化によるチェーンのダウンサイズ化や、優れた耐摩耗性を付加させる技術の導入、コーティングによる耐食性の向上等である。しかしその一方、ローラチェーンの稼働中にプレートが疲労破壊したり、ピンが摩耗する事例も未だに散見され、耐久性に優れた製品の開発が強く望まれている。今日の日本国内におけるスチール製チェーンの生産高はほぼ横ばいで推移し、一定の需要はあるものの市場の拡大は期待できない。このような状況のなか、チェーンメーカーは競合各社との差別化を図るため研究開発を続けている。

そこで、本研究では常温常圧の最も汎用的な環境において、ローラチェーンの寿命に直接的に影響する強度と摩耗に注目する。ローラチェーンの疲労強度評価は古くから研究が行われており、近年はFEM応力解析を用いた研究も行われている。しかしながら、

稼働中のローラチェーンを構成する各部材に注目し、応力や強度の考察は殆ど行われていない。摩耗や変形などに伴う使用中の不具合の解消や耐久寿命向上に対応するためには、部材各部の強度信頼性を明らかにしておく必要がある。ローラチェーンの摩耗の研究の多くは、実体のチェーンとスプロケットを用いて、ピンとブシュの摩耗を評価している。この方法は、信頼性のある評価方法である反面、試験に多くの工数を要し、試験可能な材質や組合せも限られるといった課題も有する。様々な産業や使用環境に適した摺動部品の開発には、チェーン実体の摩耗を精度よく再現でき、現行よりも簡便な評価方法が必要である。

本研究では、FEM 解析を用いたチェーン各部材の強度評価や、新しい摩耗試験機の開発を試みる。得られた知見や評価方法は、大気中での性能向上に限らず、高温や腐食環境等、大気中よりも厳しい環境下において、ローラチェーンを使用する際の強度設計や耐摩耗性評価を行う上で有用と考える。

第1章は緒論であり、研究背景と目的を述べた。

第2章では、圧入、引張り、噛合いのローラチェーンの3状態毎に、ローラチェーン各部材の強度を FEM 応力解析を用いて考察した。内プレートの孔周辺が最も危険であることを明らかにした。また2次元解析では、3次元解析とはかけ離れた強度評価しか得られないことを示し、3次元解析による評価の必要性を述べた。

第3章では、ローラチェーンの実機で破損事例の多い内プレートに注目し、プレートにピンを圧入した試験片を用いて疲労試験を行い、圧入率の疲労強度への影響を S-N 曲線を用いて評価した。圧入が疲労限度を向上させることを実験で明らかにした。また、最大圧入率において、プレートよりも先にピンにき裂が生じた例が多く見られ、フレッシング疲労が生じていること示唆した。

第4章では、試験工数と費用が多大なチェーン実体摩耗試験機に対し、チェーン実体と同様の摩擦条件を有し、かつ試験片をピン、ブシュに限定することで、簡便な操作性を持つ摩耗試験機を開発した。開発機と従来のチェーン実体で、摩擦面や断面形状の変化等、両者が一致し、優れた再現性が実証できたことを述べた。

第5章は総括であり、本研究で得られた主要な結論を要約した。

学位論文審査の結果の要旨

ローラチェーンは駆動装置や部品搬送システムなどに用いられる主要な伝動機械要素であり、駆動側スプロケットに噛み込んだチェーンにより駆動力が従動側に直接伝達される。伝動容量が大きく伝達効率も高いので、自転車、オートバイ、鉄鋼、化学、食品、エレクトロニクス分野など幅広い産業分野で使用される。産業の多様化に伴い、様々な使用環境に合わせて、部材の高強度化や、耐摩耗の向上、コーティングによる耐食性の付与が行われている。一方で、稼働中のチェーンを構成するプレートの疲労破壊や、ピンの摩耗トラブルも散見されており、長寿命化のための技術開発が継続されている。

本研究では、ローラチェーンの寿命を支配する2大要因として疲労強度と摩耗を取り扱っている。その疲労強度の研究は古くからあり、最近では応力解析もなされている。しかし、摩耗や変形に伴う使用中の不具合を解消して、寿命を向上させるため、部材各部の強度や信頼性を明確にする必要がある。稼働中の摩耗に関しては、実体チェーンを用いて、摺動部の摩耗量を評価しているため、実験に多くの工数を要し、取り扱う材質や組合せも限定される。使用環境に適した摺動部品の開発には、実体チェーンの摩耗が再現できる簡便な評価試験法を開発することが望ましい。

本研究では、ローラチェーンの負荷状態に、以下の3形態があることに注目している。すなわち、1) 単純引張状態、2) 駆動/従動スプロケットとの噛み合い状態、3) 無負荷状態である。そして、それぞれの負荷状態に対して、ローラチェーンを構成する4つの部材、すなわち、ピン、ブシュ、内プレート、外プレートの各部品が受ける負荷を、実験とFEM解析により明らかにしている。さらに、実体チェーンに摩耗が生じるメカニズムを考察し、簡便で再現性に優れた摩耗試験機を開発している。大気中での性能向上に限らず、今後、高温や腐食環境等の厳しい環境下における強度設計や、耐摩耗性評価を行う上でも、有用な議論がなされている。

第1章は緒論であり、研究背景と目的を述べている。

第2章では、ローラチェーンの異なる負荷状態、すなわち、1) 単純引張状態、2) スプロケットとの噛み合い状態、3) 無負荷状態に対して、各部材の応力の変化を調べ、疲労強度を考察している。ブシュは応力解析困難な部材であるが、危険箇所を考察し、内面き裂の発生メカニズムを議論している。また、ローラチェーンの全体に対して、プレートの孔周辺が最も危険であることを、通常用いられる簡便な2次元解析にとどまらず、ピンの曲がりを考慮した3次元解析も用いて明らかにしている。

第3章では、ローラチェーンの実機で破損事例の多いプレートに注目している、その強度を明確にするため、プレートにピンを圧入した試験片のピンに片振り荷重をかけて疲労試験を行い、ピン圧入の疲労強度への影響を実験と解析により評価している。その結果、圧入が疲労限度を向上させることを明確にするとともに、圧入率の大きさの違いによって疲労限度に大きな差が無いことを示している。その結果、チェーン製造時の圧入荷重を小さくして、圧入時に生じる傷を少なくし、疲労強度を向上させることが可能であることを明らかにしている。

第4章では、試験工数と費用が多大なチェーン実体摩耗試験機に対し、チェーン実体と同様の摩擦条件を有し、簡便な操作性を持つ摩耗試験機を開発したことを説明している。試験に要する部品が少ない開発試験機は、試験体をピン、ブシュに限定することで、チェーン実体摩耗試験機よりも試験精度が向上し、試験工数を削減できる利点を有することを示している。また、定常摩耗の範囲において、開発試験機と従来のチェーン実体で、摩擦面や断面形状の変化等、両者が一致し、開発試験機の優れた再現性を実証している。

第5章は総括であり、本研究で得られた主要な結論を要約した。

以上、本論文では、稼働中のローラチェーンを構成する各部材に生じる応力変動を明確にして疲労強度を考察している。そのプレート孔縁の危険箇所を指摘するとともに、ピンの圧入によって、疲労強度が向上することを明らかにしている。さらに、新しく開発した摩耗試験機により、チェーン実体の摩耗が、簡便に再現できることを実証している。これらの新たに得られた知見は、工業上ならびに機械工学の分野に寄与するところ大であり、博士（工学）の学位論文に値するものとして認められる。なお、本論文に関し、調査委員並びに公聴会出席者からは、プレートの解析における安全率の定義、圧入によるプレートの疲労強度向上への影響、開発した摩耗試験機の潤滑条件等について質問がなされたが、いずれも適切な回答がなされた。

以上により、論文調査及び最終試験の結果に基づき、審査委員会において慎重に審査した結果、本論文が、博士（工学）の学位に十分値するものであると判断した。